

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02559

研究課題名（和文）単一飛行電子を用いた量子電子光学実験の基盤技術の開発

研究課題名（英文）Development of fundamental tools for electron quantum optics with single flying electrons

研究代表者

高田 真太郎（TAKADA, Shintaro）

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：90805144

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、表面弾性波によって運ばれる単一電子を用いた量子電子光学実験の基盤技術開発に取り組んだ。主要な成果として、単一電子の移送タイミングを完全に制御する技術の実証、2個の単一飛行電子の衝突実験によるアンチバンチングの観測、そして、高強度な表面弾性波の孤立パルスを発生させる技術の開発とそれによる高効率な単一電子移送の実証が挙げられる。また、本研究では上述の成果を得た実験を含め、これまでGaAs電子系で行われてきた表面弾性波を用いた単一電子の移送技術をSi電子系に移植することを目標に、圧電薄膜を用いたGHz帯の表面弾性波の発生技術の開発にも取り組み、1 GHzの表面弾性波の発生を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では表面弾性波を用いた単一電子移送に関する研究を実施した。その成果として、波1個単位でタイミングを制御した単一電子移送を実現し、単一飛行電子に対する単発測定による量子電子光学実験を実施する環境を整えた。また、その技術を用いて2個の単一飛行電子の衝突実験を行い、個々の事象を追いかける単発測定によって、クーロン相互作用に基づくアンチバンチングの観測に成功するなど学術的に高いインパクトを与える成果を得た。

本研究で得られた単一飛行電子の制御技術は、固体中において電子が持つ量子情報の伝送手段として、大規模な量子計算の実現に貢献し、将来的には社会課題の解決に繋がるものと期待される。

研究成果の概要（英文）：This research focuses on the development of fundamental technologies for electron quantum optics experiments using single electrons transported by surface acoustic waves (SAWs). The major achievements include: 1. Demonstration of a technique for complete control of the timing of single-electron transfer. 2. Observation of antibunching in a collision experiment between two single flying electrons. 3. Development of a technique for generating isolated SAW pulses and demonstration of high-efficiency single-electron transfer using these pulses.

In addition to the experiments that led to the above achievements, this research also aims to transplant the SAW-based single-electron transfer technology developed for GaAs electron systems to Si electron systems. To this end, we have also developed a technique for generating GHz-band SAWs using piezoelectric thin films and have confirmed the generation of 1 GHz SAWs.

研究分野：ナノ構造物理

キーワード：表面弾性波 単一電子デバイス 量子電子光学 量子情報処理 飛行量子ビット

### 1. 研究開始当初の背景

量子光学の担い手である光子は相互作用の弱い量子であり、非常に高い可干渉性を有する。しかし、相互作用が弱いために2つの単一光子を効率良くもつれさせる操作は難しい。一方で、固体中を伝播する電子の量子状態を制御することで量子光学的な実験を行う量子電子光学では、電子間に働くクーロン相互作用を用いることで、2個の単一電子間に容易に量子もつれを導入することができる[1]。また、現在の半導体技術との対応から固体中の電子系は集積性に利点があると考えられ、量子電子光学の研究は、将来的には単一電子レベルで動作する大規模な量子電子回路の実現に繋がる。

研究開始当初、GaAs系の半導体二次元電子系では、GaAsの圧電特性を利用して発生させた表面弾性波のピエゾ電場を利用し、離れた2つの量子ドットの間で単一電子を高効率に移送できることが示されていた[2, 3]。その実験で示された技術は、量子電子光学における単一電子源と単一電子検出器として捉えることができる。そこで、さらに表面弾性波によって運ばれる単一飛行電子に対してコヒーレントな制御を行うための基盤技術が開発されれば、単一電子による様々な量子電子光学実験を行うことが可能となる。しかし、相互作用をせず、高い可干渉性を示す光子とは対照的に、フォノンや他の電子と強く相互作用をする固体中の飛行電子を高い可干渉性を保持しながら制御することは大きな挑戦である。実際に、表面弾性波によって運ばれる飛行電子の電荷状態に関して、どのように外部との相互作用を抑えた安定な量子状態を用意し、忠実度の高いコヒーレント制御を実現するかが現在の大きな課題となっている。

一方で、電子のスピン状態に関しては、電荷状態と比較して環境との相互作用が小さく、表面弾性波を用いた単一電子移送の方法によって、その情報をコヒーレントに運ぶことがすでに示されていた[4]。電子スピン量子ビットは集積性の観点から将来の量子情報処理における量子ビットの有力候補と考えられ、表面弾性波を用いた電子移送は離れた量子ビットを結び付ける技術としての応用が期待される。しかしながら、GaAs中の電子スピンはまわりに多く存在する核スピンとの結合により、可干渉性を失うことが報告されており、当時すでに電子スピン量子ビットの研究は核スピンの影響が小さいSi中の電子系に移行していた。Siは圧電特性を持たないため、表面弾性波を用いた単一電子移送の方法を適用するためには、Siに圧電特性を導入する工夫が必要となる。先行研究では、Si基板上に圧電帯薄膜を作製することで、Si電子系に圧電的な表面弾性波を導入した例は報告されている[5]が、量子ビットを構成するためのナノ構造と圧電特性の導入を両立させることは新たな挑戦となる。

### 2. 研究の目的

2.1 電子の電荷の自由度に着目し、表面弾性波によって運ばれる単一飛行電子を用いた様々な量子電子光学実験の実現を見据え、飛行電子に対するビームスプリッタや位相制御器といった基盤技術の実現を目指す。

2.2 表面弾性波による単一電子スピンの移送という観点から、量子情報処理への応用を見据え、量子ビットを実現するためのナノ構造を持つSi電子系に圧電的な表面弾性波を導入し、単一電子スピンのコヒーレントな移送を実現するための技術開発を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) GaAs/AlGaAs 半導体二次元電子系における量子電子光学実験に向けた基盤技術の開発

本研究では、  
基板表面から  
100 nm程度の深  
さの位置に二次  
元電子系を有す  
るGaAs/AlGaAs  
ヘテロ接合基板

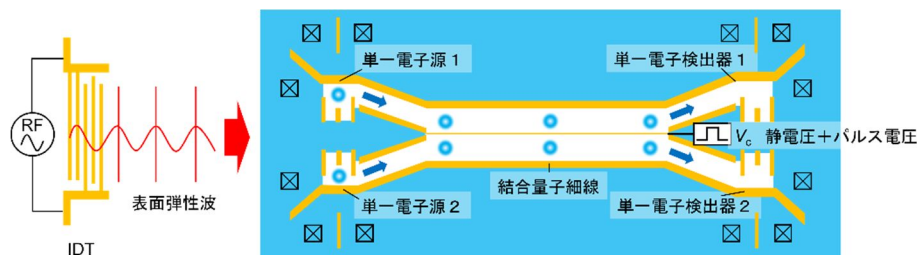


図 1: 2電子の衝突実験に用いたナノ構造の模式図

の表面に、図1に示されるようなショットキー電極(黄色)を作製し、そこに負電圧を与えることで周囲の電子を排斥し、単一電子源や単一電子検出器となる量子ドットや飛行電子の導通路となる量子細線などを構成する。また、図1の左側に示されている楕形電極IDTは電子の移送に用いる表面弾性波を発生させる構造となっており、ここに適切な高周波電圧を印加することで、GaAsの圧電特性により表面弾性波が発生する。実験ごとに適切なナノ構造を設計して作

製し、測定を行った。

## (2) Si電子系における表面弾性波を用いた単一電子移送の実現に向けた研究

本研究では、Si 電子系として、SOI (Silicon on insulator)を利用することを想定している。SOI では、バックゲートを用いて電子を誘起することができるため、遮蔽効果によって表面弾性波を阻害すると考えられる試料全体に跨る大きなトップゲートを試料表面に配置する必要がない。また、エッチングによって削り分けた電子系をバイアスし、ポテンシャルを操作する In-plane ゲート(図2を参照)を利用することで、表面弾性波を遮蔽する構造を極力少なくすることを考えている。この研究では SOI 基板上に ZnO 圧電体薄膜を作製し、さらにその上に表面弾性波を発生させるための楕形電極 IDT を作製し、ネットワークアナライザを用いて発生する表面弾性波の強度の評価を行った。

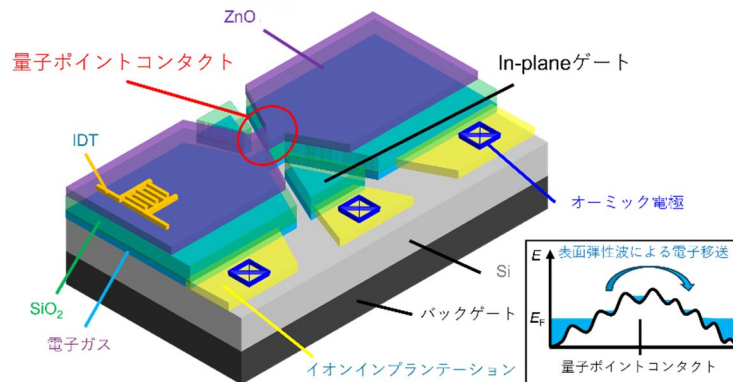


図 2: SOI試料の模式図

この研究では SOI 基板上に ZnO 圧電体薄膜を作製し、さらにその上に表面弾性波を発生させるための楕形電極 IDT を作製し、ネットワークアナライザを用いて発生する表面弾性波の強度の評価を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 表面弾性波によって運ばれる単一飛行電子の位置分布測定

表面弾性波を用いた単一電子の移送では、楕形電極 IDT の共鳴周波数による励起によって高強度な表面弾性波バーストを用いて電子の移送が行われてきた。この表面弾性波バーストは、100個以上の波から構成されており、従来の単一電子移送の方法ではこの複数の波のどの部分で電子の移送が行われているかは不明確である。研究代表者らは本研究に先立って、GHz 帯の高周波パルス電圧を用いることで、特定の波の底を選び、単一電子源となる量子ドットから電子を送り出すことができることを示してきた。しかし、電子を単一電子源から送り出すタイミングで特定の波の底に寄せられることは示した一方で、電子が単一電子検出器に到達するまで同一の波の底に閉じ込められて移送されているか否かについての情報は得られていなかった。そこで、本研究では、電子の導波路上に GHz 帯の電圧パルスで高速に開閉可能なポテンシャル障壁を設置し、電子が移送経路上で表面弾性波のどの波の底に留まって運ばれているかという位置分布の測定を行った。その結果、移送に用いる表面弾性波の強度が弱い場合には、電子は移送中に最初に寄せた波の底以外にホッピングし、位置分布が広がりを持つことがわかった。一方で、特定の閾値以上の強度の表面弾性波で電子の移送を行えば、最初に決めた位置の波で電子の移送を行うことができることを明らかにした。この結果は、決められたタイミング（特定の波の底）で単一電子移送を行うことを可能とするものであり、ここで得られた知見を基に、下記に記述する2個の単一飛行電子の衝突実験を行った。本成果の内容は Applied Physics Letters に出版され、Editor's pick に選ばれた。

- H. Edlbauer *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **119**, 114004 (2021).

### (2) 表面弾性波の孤立パルスの発生技術の開発

4. (1)で述べたように、従来の表面弾性波を用いた単一電子移送では、多数の波の底を持つバースト状の表面弾性波を用いて電子の移送が行われていた。一方で、4. (1)の結果では、単一電子の移送を行うためには、十分高強度な波が一つあれば電子移送が行えることがわかった。バースト状の表面弾性波では、電子の移送に関与しない多数の波が電子移送の前後に電子系に擾乱と

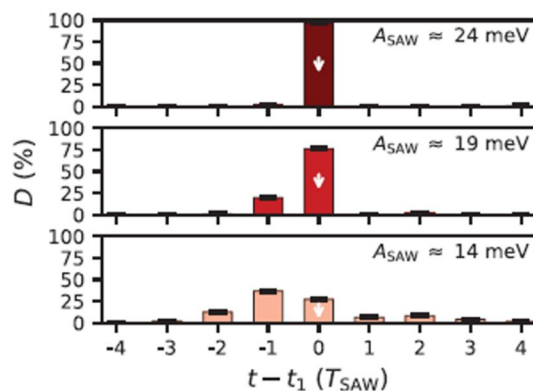


図 3: 表面弾性波によって運ばれる単一電子の位置分布。表面弾性波の強度が十分に強い場合

( $A_{SAW}=24$  meV)には、最初に電子を寄せた表面弾性波の波の底(白い矢印)に電子は留まって移送が行われることを示している。一方で、強度が不十分である場合( $A_{SAW}=19$  meV, 14 meV)には、電子の存在確率が周囲の波に広がっていることが示されている。図はH. Edlbauer *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **119**, 114004 (2021)より許可を得て引用。

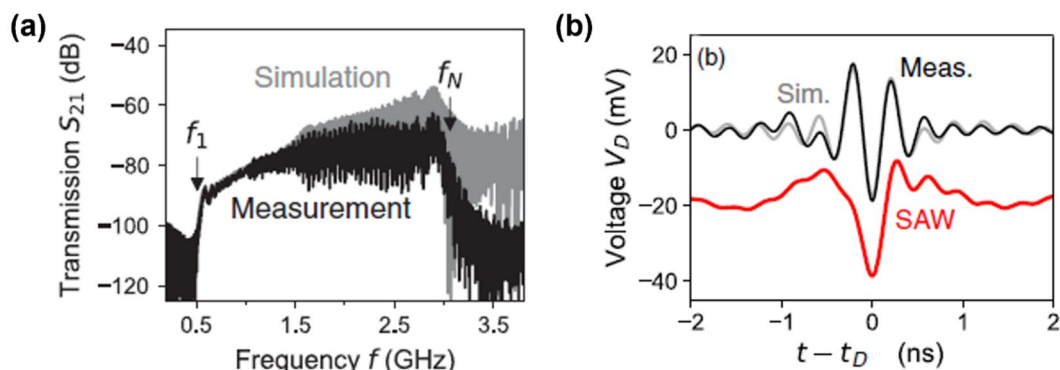
この結果は、決められたタイミング（特定の波の底）で単一電子移送を行うことを可能とするものであり、ここで得られた知見を基に、下記に記述する2個の単一飛行電子の衝突実験を行った。本成果の内容は Applied Physics Letters に出版され、Editor's pick に選ばれた。

- H. Edlbauer *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **119**, 114004 (2021).



して加わる。そのような擾乱は、例えば電子のスピン状態に意図しない変化を与える問題が報告されていた[4]。そのため、理想的には高強度な表面弾性波の孤立パルスを生じ、それによって単一電子の移送を行うことが好ましい。本研究では、そのような高強度な表面弾性波の孤立パルスを生じ、それによる単一電子移送を実現することを目的として研究を行った。ここではチャープ IDT と呼ばれる櫛の周期が左右で連続的に変化する構造を用意し、その IDT を周波数が時間的に変化する高周波電圧を用いて適切に励起することで、広い周波数帯域の表面弾性波を同位相で重ね合わせ、デルタ関数を構成する要領で表面弾性波の孤立パルスを生じする方法を用いた。その結果、図 4 に示されるように、0.5 GHz から 3 GHz の周波数の表面弾性波を重ね合わせ、表面弾性波の孤立パルスを生じすることに成功した。さらに、実験ではこの表面弾性波パルスを用いて 98 % を超える高い効率で電子の移送が行えることを示した。このような表面弾性波の孤立パルスを用いた単一電子移送では、GHz 帯の高周波電圧によるトリガー技術を用いなくても電子を移送するタイミングを揃えることが可能であり、電子系に対して余分な擾乱を与えない形で電子を運ぶことが可能である。表面弾性波は本研究のような単一電子の移送だけでなく、スピン流の生成やスカーミオンの生成など他の研究にも多く用いられるようになっており、本研究で開発した GHz 帯の表面弾性波の孤立パルスの生成技術はそれらの研究への応用なども想定される。本成果の内容は *Physical Review X* に出版され、Exceptional Research としてスポットライトされた。

- J. Wang *et al.*, *Phys. Rev. X* **12**, 031035 (2022).
- 余分な乱れ無く単一電子を高効率に移送することに成功、産総研プレスリリース ([https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2022/pr20220907/pr20220907.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220907/pr20220907.html))



**図4:チャープIDTを用いた表面弾性波の孤立パルスの発生。**(a) 作製したチャープIDTの周波数応答と設計時シミュレーション。設計通り0.5 GHzから3.0 GHzまで表面弾性波の共鳴が確認できる。(b) 発生させた表面弾性波パルスの実時間測定の結果。黒い実線は検出器の特性を含んだデータであり、その結果をシミュレーションで再現したものがグレーの実線である。シミュレーションの結果から検出器の特性を考慮し、試料上での表面弾性波パルスの実際の波形を計算したものが赤い実線である。図はJ. Wang *et al.*, *Phys. Rev. X* **12**, 031035 (2022) より引用して再構成。

### (3) 表面弾性波によって運ばれる単一飛行電子の衝突実験

本研究では、先行研究で研究代表者らが示した表面弾性波によって運ばれる単一飛行電子に対するビームスプリッタ操作の技術[6]と、4. (1)の成果であるタイミングを制御した単一電子移送の技術を組み合わせることで、2個の単一飛行電子をビームスプリッタにおいて衝突させる実験を行った。電子はフェルミ粒子であるため、区別の付かない2電子をビームスプリッタに同時に入射すると、ビームスプリッタの2箇所出力から常に電子が1個ずつ出てくるアンチバンチングという現象が観測されることが予測される。そのようなアンチバンチングの観測は、先行研究で単一電子源を用いた実験で報告例[7,8]があったが、それらの実験では多数の電子の振る舞いを平均した結果として現れるショット雑音の測定によってアンチバンチングの観測が導き出されていた。それらの実験とは対照的に、本研究の表面弾性波を用いた系では単一電子源に加えて単一電子検出器があるため、個々のイベントを追いかける単発測定によってそのような振る舞いの観測を行うことが可能である。実験では、ビームスプリッタに対して2個の単一電子が異なるタイミングで独立して入射する場合には、2箇所出力から電子が1個ずつ出てくる確率  $P_{11}$  は独立事象の確立から計算できる50%であった。一方で、2個の単一電子を同時に入射した場合には、アンチバンチングで期待されるように  $P_{11}$  が上昇する様子が確認され、 $P_{11} = 80\%$  という値が得られた。本研究では、実験結果を静電的なシミュレーションを用いて解析することで、観測されたアンチバンチングの起源がフェルミ粒子の交換統計に起因するものではなく、クーロン相互作用であることを示した。本成果は、単一飛行電子に対する単発測定によって個々のイ

ベントを追いかけてアンチバンチングを観測した初めての実験結果である。これらの内容については Nature Nanotechnology に論文として出版された。

- J. Wang *et al.*, *Nature Nanotechnology* **18**, 721-726 (2023).

#### (4) ZnO 薄膜を用いた Si 基板上での表面弾性波の生成

本研究では、核スピンとの相互作用による電子スピンのデコヒーレンスを抑制可能であり、現在スピン量子ビット研究の主要な舞台となっている Si 電子系において、表面弾性波を用いた単一電子移送を実現し、離れたスピン量子ビット間での電子スピンのコヒーレントな移送方法として応用することを目的とし、非圧電体である Si 系で表面弾性波を発生させるための技術開発に取り組んだ。ここでは、Si 基板に圧電特性を導入するための圧電帯薄膜として、ZnO 薄膜を用いた。

Si 基板上に PLD (plasma laser deposition) によって ZnO 薄膜を作製し、その後の微細加工プロセスから ZnO 薄膜を守るためにさらに SiO<sub>2</sub> 薄膜を成膜した。その後、電子線描画と真空蒸着によって、表面弾性波を発生させるための楕円電極 IDT を作製した。作製した IDT の評価は 2 個の IDT を対で作製する delay line 型のセットアップにおいて、ベクトルネットワークアナライザ (VNA) を用いて行った。IDT のデザインとしては、IDT 内部での表面弾性波の反射を抑制できる Double finger 型の IDT を採用した (図 5 (a) を参照)。IDT の共鳴周波数  $f_0$  は、作製した IDT の楕円の周期  $\lambda$  と基板における表面弾性波の音速  $v_{SAW}$  から  $f_0 = v_{SAW}/\lambda$  のように決まる。本研究では、異なる周期を持つ IDT を設計し、その評価を行った。図 5 (b) は測定で得られた結果を示している。ここでは周期  $\lambda$  が 4.36  $\mu\text{m}$  の IDT を用いた。周波数約 1 GHz 付近にピークが現れている。これは表面弾性波の発生に由来するものであり、ZnO 薄膜を用いて Si 基板上で GHz 帯の表面弾性波の生成に成功した。今後は、Si 電子系における単一電子スピンの表面弾性波を用いたコヒーレントな移送の実現に向けて、ZnO、SiO<sub>2</sub> 薄膜の膜厚などの最適化を図り、GaAs 電子系の知見からより単一電子移送に適していると考えられるより短い波長 ( $\lambda \sim 1 \mu\text{m}$ ,  $f_0 \sim 4 \text{ GHz}$ ) の表面弾性波を高効率に発生できるような構造の開発に取り組む予定である。

#### 【参考文献】

- [1] R. Ioniciu *et al.*, *Int. J. Mod. Phys. B* **15**, 125 (2001).
- [2] S. Hermelin *et al.*, *Nature* **477**, 435 (2011).
- [3] R. P. G. McNeil *et al.*, *Nature* **477**, 439 (2011).
- [4] B. Bertrand *et al.*, *Nature Nanotechnology* **11**, 672 (2016).
- [5] S. Büyükköse *et al.*, *Nanotechnology* **23**, 315303 (2012).
- [6] S. Takada *et al.*, *Nature Communications* **10**, 4557 (2019).
- [7] E. Bocquillon *et al.*, *Science* **339**, 1054 (2013).
- [8] J. Dubois *et al.*, *Nature* **502**, 659 (2013).

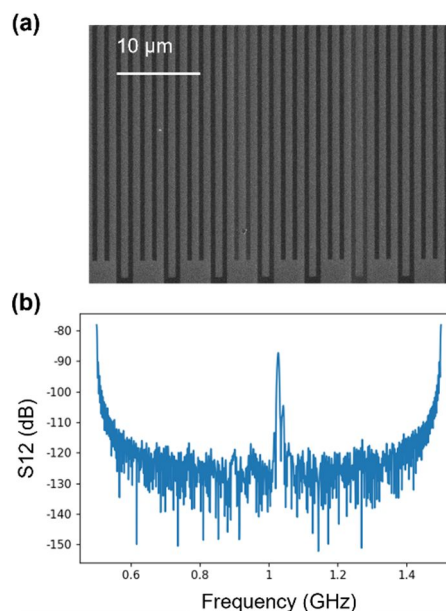


図 5: ZnO 薄膜を用いた表面弾性波の発生。

(a) 作製した IDT の電子顕微鏡写真。黒く見える部分が金属電極となっており、1 周期 ( $\lambda = 4.36 \mu\text{m}$ ) 内に正と負の極性の電極が 2 本ずつ配置された構造となっている。(b) VNA を用いて測定した 2 つの IDT 間のパワーの透過特性。約 1 GHz に表面弾性波の発生に由来する共鳴ピークが現れている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Wang Junliang, Ota Shunsuke, Edlbauer Hermann, Jadot Baptiste, Mortemousque Pierre-Andre, Richard Aymeric, Okazaki Yuma, Nakamura Shuji, Ludwig Arne, Wieck Andreas D., Urdampilleta Matias, Meunier Tristan, Kodera Tetsuo, Kaneko Nobu-Hisa, Takada Shintaro, Bauerle Christopher	4. 巻 12
2. 論文標題 Generation of a Single-Cycle Acoustic Pulse: A Scalable Solution for Transport in Single-Electron Circuits	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 31035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.12.031035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Edlbauer Hermann, Wang Junliang, Ota Shunsuke, Richard Aymeric, Jadot Baptiste, Mortemousque Pierre-Andre, Okazaki Yuma, Nakamura Shuji, Kodera Tetsuo, Kaneko Nobu-Hisa, Ludwig Arne, Wieck Andreas D., Urdampilleta Matias, Meunier Tristan, Bauerle Christopher, Takada Shintaro	4. 巻 119
2. 論文標題 In-flight distribution of an electron within a surface acoustic wave	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 114004 ~ 114004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0062491	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Takada Shintaro, Georgiou Giorgos, Arrighi Everton, Edlbauer Hermann, Okazaki Yuma, Nakamura Shuji, Ludwig Arne, Wieck Andreas D., Yamamoto Michihisa, Bauerle Christopher, Kaneko Nobu-Hisa	4. 巻 90
2. 論文標題 Heat-Driven Electron-Motion in a Nanoscale Electronic Circuit	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 113707~113707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.113707	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuan Mingyun, Biermann Klaus, Takada Shintaro, Bauerle Christopher, Santos Paulo V.	4. 巻 8
2. 論文標題 Remotely Pumped GHz Antibunched Emission from Single Exciton Centers in GaAs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 758 ~ 764
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.1c00094	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ito R., Takada S., Ludwig A., Wieck A. D., Tarucha S., Yamamoto M.	4. 巻 126
2. 論文標題 Coherent Beam Splitting of Flying Electrons Driven by a Surface Acoustic Wave	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.070501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 高田真太郎
2. 発表標題 固体電子系における量子計算の実現に向けた飛行電子の制御
3. 学会等名 固体におけるエニオンと分数統計粒子研究の最前線 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shintaro Takada
2. 発表標題 A single-electron toolbox for quantum applications assisted by sound waves
3. 学会等名 29th International Conference on LOW TEMPERATURE PHYSICS (LT29) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高田真太郎
2. 発表標題 固体電子系における飛行量子ビットの実現と物性測定への応用
3. 学会等名 第2回ナノスケール物性科学の最先端と新展開 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田俊輔
2. 発表標題 表面弾性波への単一飛行電子の選択的閉じ込め
3. 学会等名 応用物理学会 第82回秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shintaro Takada
2. 発表標題 A single-electron toolbox for quantum applications assisted by sound
3. 学会等名 SEQUOIA Final Online Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shintaro Takada
2. 発表標題 Heat-Driven Electron Motion in a Nanoscale Electronic Circuit
3. 学会等名 24th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shunsuke Ota
2. 発表標題 Single-Electron Transport with Acousto-Electric Chirp Pulses
3. 学会等名 20th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Junliang Wang
2. 発表標題 In-Flight Manipulation of a Single Electron Shuttled by Sound
3. 学会等名 24th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田俊輔
2. 発表標題 シングルミニマム表面弾性波を用いた単一電子輸送
3. 学会等名 応用物理学会 第69回春季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	小寺 哲夫  (Kodera Tetsuo)  (00466856)	東京工業大学・工学院・准教授   (12608)	
研究 分担者	丸山 道隆  (Maruyama Michitaka)  (30415947)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・研究グループ長   (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------